

# **CALOR DE RESPIRACIÓN DE FRUTAS Y VEGETALES**

**CARLOS E. ORREGO A. \***

PC: Refrigeración, frutas, vegetales, respiración, calor.

## **RESUMEN**

El enfriamiento y la refrigeración de frutas y vegetales recién cosechados se complica debido a la generación de calor de estos materiales originada en su actividad respiratoria. El artículo que se presenta ilustra dos sistemas de cálculo para estimar el calor de respiración con propósitos de diseño de sistemas de almacenamiento refrigerado y reúne abundante información experimental sobre este tema, tomada de diversas fuentes bibliográficas, incluyendo datos sobre especies tropicales.

## **ABSTRACT**

Heat generation from respiratory activity of fresh fruit and vegetables is an important issue to consider in refrigerated storage of these materials. This work shows two methods for respiration heat estimations based in experimental information from different sources, including tropical fruit and vegetable heat evolution data.

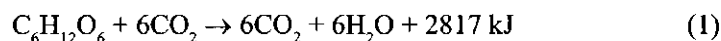
## **Introducción**

La respiración de las frutas y vegetales tiende a incrementar su temperatura superficial durante el almacenamiento lo que ocasiona, además de una mayor demanda de capacidad de refrigeración, pérdidas de peso asociadas a la evaporación y generación de CO<sub>2</sub>.

---

\* Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

La relación entre la generación de calor y temperatura se relaciona con la partición de la molécula de glucosa según la siguiente reacción (Dincer, 1997):



Como en la mayoría de las reacciones químicas la generación de calor de las frutas y vegetales es una función exponencial de la temperatura absoluta (Toledo, 1991):

$$Q = a \text{ Exp } (bT) \quad (2)$$

Q y a tienen dimensiones de energía generada por unidad de masa.

### Información experimental

En la tabla 1 se muestran los rangos de valores y/o los valores máximos de generación de calor para frutas y vegetales en aire.

Tabla 1. Evolución de calor por respiración de frutas y vegetales

Material		Wattios /Tonelada				Ref-
Español	Inglés	0°C	5°C	10°C	15°C	
Aceituna	Olive	-	30-59	71-95	118-327(20°)	3
Achicoria	Radicchio	-	71(7.5°)	-	148(20°)	5
Aguacate	Avocado	-	59-89	-	183-464	1
Ajo(bulbos intactos)	Garlic	9-32	17-29	27-29	32-81	1
Ajo(pelado,fresco)	Garlic	71	89-118	207-296	-	6
Albaricoque	Apricot	12-24	-	36-59	89-130(20°)	4
Alcachofa	Artichoke	100	140	212	330	2
Apio	Celery	21	32	58-81	110	1
Apio	Celery	21	27	36	44	2
Arándano azul	Blueberry	7-31	27-36	69-104	101-183	1
Arándano azul	Blueberry	18	-	53	201(20°)	4
Arándano rojo	Cranberry	12	-	24	53(20°C)	4
Banano maduro	Banana, ripening	-	-	65-116	87-164	1
Berenjena	Egg plant	-	-	177-31(12.5°)	-	6
Brocoli	Broccoli	59-65	95-106	225-254	473-532	6
Calabaza amarilla	Squash, yellow	35-38	42-55	103-108	222-269	1
Carambola	Starfruit	-	30-59	47-89	71-106	3
Cebolla verde	Onion, green	31-66	51-201	107-174	195-288	1
Cebolla, bulbo seco	Onion, dry bulb	9	15	21	21	2
Cereza ácida	Cherry, sour	17-39	38-39	-	81-148	1

Material		Vatios /Tonelada				Ref-
Español	Ingles	0°C	5°C	10°C	15°C	
Cereza dulce	Cherry, sweet	12-16	28-42	-	74-133	1
Cereza	Cherry	16	47	91	130	2
Chirivía	Parsnips	21	33	77	98	2
Chirimoya	Cherimoya	-	-	148-591	443-1480	3
Ciruela	Plum	18	36	63	105	2
Col	Cabbage	9	21	24	39	2
Col de Bruselas	Brusel sprout	51	89	149	223	2
Coliflor	Cauliflower	53-71	61-81	100-144	136-242	1
Colinabo	Kohlrabi	30	48	93	145	1
Curuba	Passion fruit	-	89-177	118-237	266-591(20°)	3
Durazno	Peach	12-18	-	47-71	189-325(20°)	4
Durión	Durian	-	-	36-355(13°)	591-1478(25°)	3
Endivia Belga	Belgian endive	24-30	-	83-101	207-260(20°)	6
Espárrago	Asparagus	81-237	161-403	269-902	471-970	1
Espinaca	Spinach	149	208	238	357	2
Feijoa	Feijoa	-	-	59-89(20°MnC)	118-49(20°MxC)	3
Fresa	Strawberry	43	80	147	245	2
Frambuesa	Raspberry	69	158	192	389	2
Granada	Pomegranate	-	12-24	24-48	48-106(20°)	4
Grosella	Black currant	45	77	111	257	2
Grosella espinosa	Gooseberry	20-26	36-40	-	64-95	1
Guayaba	Guava	-	-	24-177	59-413(20°C)	3
Guisantes, pelados	Peas( shelled)	217	290	460	1070	2
Guisantes, en vaina	Peas (In pod)	140	164	357	506	2
Habichuela	Beans,green - snap	-	101-103	161-172	251-276	1
Hongo	Mushroom	83-129	210	297	-	1
Higo	Fig	12-24	30-48	53-71	118-177(20°C)	4
Jujuba	Chinese Jujube	-	-	-	89-118(20°)	3
Kiwi	Kiwi	9-12	30-41	53-71	89-118(20°)	4
Lechuga	Lettuce	48	71	92	149	2
Limon(C.Lemon)	Lemon	9	15	33	47	1
Limon	Lime	-	18-30	-	30-47	3
Litchi	Lychee	-	30-47	59-89	148-237	3
Maíz dulce	Sweet corn	89	158	259	409	2
Mandarina	Tangerine, Mandarin	-	12-24	18-30	36-60	3
Mango	Mango	-	89 -130(13°C)	71- 95	112 -166	3
Manzana	Apple	10-12	15-21	41-61	41-92	1
Maracuyá	Passion fruit	-	89-177	118-236	266-531	3
Melon	Cantaloupe	12-18	24-30	41-47	101-118	5
Melon Honeydew	H. Melon	-	18-30	41-53	71-95	5
Membrillo	Quince	14-31	-	60-83	125-231	3
Mora	Blackberry	63	94	177	214	2

Material		Vatios /Tonelada				Ref-
Español	Ingles	0°C	5°C	10°C	15°C	
Nabo, sin hojas	Turnip(w.leaves)	19	40	57	65	2
Naranja	Orange	9	14-19	35-40	38-67	1
Nispero de Japón	Loquat	18-30	36-56	-	-	3
Ocra	Okra	-	163	258	431	1
Papaya	Papaya	18-30(7°C)	24-35	41-53	59-71	3
Papa madura	Potatoes,mature	-	17-20	20-30	20-35	1
Pepino	Pepino	-	-	68-86	81-98	1
Pepino	Cucumber	17	22	37	40	2
Pepino dulce	Pepino	-	-	-	47-71(20°)	3
Pera	Pear	8-20	15-46	23-63	45-159	1
Pérsimo	Persimmon	12-24	-	-	59-71(20°)	4
Pimiento	Green pepper	23	31	57	63	2
Pimiento dulce	Pepper, sweet	-	-	43	68	1
Piña	Pineapple	-	12-24(7°C)	18-30	47-59	3
Puerros	Leeks	60	83	149	223	2
Rábano, sin hojas	Radish(w.tops)	27	40	65	109	2
Rábano picante	Horseradish	24	32	78	97	1
Rambutan	Rambutan	-	-	-	118-355(25°)	3
Remolacha	Red beet	16-21	27-28	35-40	50-69	1
Repollos	Cabbage	12-40	28-63	36-86	66-169	1
Ruibarbo	Rhubarb	40	60	100	126	2
Sapote mamey	Mamey Sapote	-	-	-	148-207(20°)	3
Sandía	Water melon	-	18-24	36-53	101-148(20°)	5
Tomate	Tomate	17	26	43	66	2
Tomate verde	Husk tomato	-	36-41	41-59	89-118(20°)	6
Tomate verde-maduro	Tomatoemature green	-	21	45	61	1
Tomate de árbol	Tamarillo	-	-	-	59-71(20°)	3
Toronja	Grapefruit	-	19	30	48	2
Uvas, en racimos	Grape clusters	6-12	18-24	30-47	71-89(20°)	4
Uvas Europeas	Grapes, European	4-7	9-17	24	30-35	1
Uvas Americanas	Grapes, American	8	16	23	47	1
Zanahorias, sin hojas	Carrot topped	39	51	57	71	2
Zanahorias	Carrots	46	58	93	117	1

Adaptado de :

(1) Sing, Heldman, 1994 ; (2) Anon, 1978 ; ( 3) Kader, 2000; (4) Crisosto y otros, 2000; (5) Suslow y otros, 2000 ; (6) Cantwell, 2000

MnC:Mínimo Climatérico; MxC: Máximo Climatérico

## Cálculos de la generación de calor

Una primera aproximación, que subvalora la carga térmica a retirar durante el almacenamiento cuando el material se enfría desde una temperatura inicial  $T_1$  a una final  $T_2$  en un tiempo  $\Delta t$  sería la de utilizar, para una temperatura media de  $(T_1 + T_2) / 2$ , el valor mas alto leído - o interpolado- de la información de la tabla 1.

Tabla 2. Calor de respiración de frutas y vegetales en aire

Fruta o vegetal	Nombre -Ingles-	a	b	Ref.
Ajo	Garlic	5,59	0,097	1
Albaricoque	Apricot	2234,83	0,117	1
Apio	Celery	20,30	0,104	2
Batata	Sweet potato	31,70	0,061	2
Brócoli	Broccoli	97,7	0,121	2
Cebolla	Onion	6,92	0,099	2
Cereza, ácida	Cherry,sour	19,10	0,119	1
Cereza,dulce	Cherry,sweet	18,07	0,121	1
Ciruela	Plum	20,33	0,114	1
Cirucla amarilla	Plum,yellow	93,14	0,114	1
Coles de bruselas	Brussels sprout	104,00	0,081	2
Coliflor	Cauliflower	0,00	0,108	1
Durazno	Peach	19,97	0,121	1
Esparrago	Asparragus	173,00	0,086	2
Espinaca	Spinach	65,60	0,131	2
Frambuesa	Raspberry	67,95	0,106	1
Fresa	Strawberry	47,14	0,092	1
Grosella	Black currant	16,87	0,129	1
Habichuelas	Bean,green	86,10	0,115	2
Hongos	Mushroom	0,00	0,089	1
Lechuga, hoja	Lettuce,leaf	59,10	0,074	2
Limon	Lemon	0,08	0,087	1
Maíz dulce	Sweet corn	131,00	0,077	2
Manzana, temprana	Apple,early	14,31	0,098	1
Manzana,tardía	Apple,late	9,78	0,096	1
Melon	Cantaloupe	16,10	0,126	2
Mora	Blackberry	35,34	0,133	1
Nabo	Turnip	25,80	0,067	2

Fruta o vegetal	Nombre -Ingles-	a	b	Ref.
Naranja	Orange	14,80	0,133	2
Nuez	Nut	2,92	0,094	1
Pepino	Cucumber	0,00	0,112	1
Pera,tardía	Pear,late	10,71	0,136	1
Pera,temprana	Pear,early	13,92	0,138	1
Pimenton	Paprika	0,00	0,074	1
Pimiento	Peppers,sweet	33,40	0,072	2
Puerro	Leek	35,17	0,124	1
Rábano,rojo	Radish,red	25,89	0,083	1
Repollo Blanco	Cabbage,white	16,8	0,074	2
Remolacha	Beet	38,1	0,056	2
Tomate	Tomato	13,20	0,103	2
Toronja	Grapefruit	8,19	0,098	1
Zanahoria	Carrot	29,10	0,083	2

Adaptado de (1) Gogus y otros, 1972 ; (2) ASHRAE, 1974

### Ejemplo 1:

Se desea calcular el calor producido por una tonelada de mora que se enfría desde 25°C hasta 5°C en 24 horas.

Temperatura media:  $(25 + 5)/2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Dato de calor de respiración según la tabla 1:

214 Vatios / tonelada (Si existiera un rango se tomaría el mayor valor)

Estimado del calor producido por la mora:

214 vatios/ton (24hr) (3600s/hr) (1 ton) =  $1,85 \times 10^7$  Julios

Durante el enfriamiento la rata de respiración decrece a medida que la temperatura disminuye. El calor total emitido para un período de enfriamiento entre dos temperaturas es:

$$Q_T = \int_{T_1}^{T_2} QdT = a \int_{T_1}^{T_2} EXP(bT)dT \quad (3)$$

El valor medio del calor de respiración, calculado un cambio de temperatura desde  $T_1$  hasta  $T_2$  en un intervalo de tiempo  $\Delta t$  es:

$$\bar{Q} = \frac{Q_T}{\Delta t} = \frac{a \int_{T_1}^{T_2} \text{EXP}(bT) dT}{\Delta t} \quad (4)$$

Si la velocidad de enfriamiento depende linealmente del tiempo,

$$T = T_1 - m t \quad (5)$$

Para  $m = [(T_1 - T_2)/\Delta t]$

Reemplazando (5) en (4) y tomando límites entre 0 y  $\Delta t$  se llega a

$$\bar{Q} = \frac{a \text{Exp}(bT_1)}{b(T_1 - T_2)} [1 - \text{Exp}(-b(T_1 - T_2))] \quad (6)$$

La expresión anterior proporciona el calor medio generado en el tiempo  $\Delta t$  ( Toledo, 1991).

**Ejemplo 2:** Resolver el ejemplo 1 con este nuevo método.

En la tabla 2 , para la mora  $a = 35,34$  ;  $b = 0,133$

$$\bar{Q} = \frac{35,134 \text{Exp}(0,133 \times 25)}{0,133(25 - 5)} [1 - \text{Exp}(-0,133(25 - 5))] = 341,49 \text{ Vatios/ton}$$

La carga térmica total será:

$$341,49 \text{ Vatios/ton} \times 1 \text{ ton} \times 24 \text{ hr} \times 3600\text{s/hr} = 2,95 \times 10^7 \text{ Julios}$$

Esta información también puede utilizarse para determinar la producción de gas carbónico debida a la respiración: el valor, en vatios/ton que se determine o se tome

de la información bibliográfica se divide por 5,9 y se obtendrán los ml de CO<sub>2</sub> /Kg. hr de la tasa de respiración media (o a una temperatura determinada, según se trate) del material vegetal.

Otros datos experimentales sobre parámetros de interés en poscosecha se pueden encontrar en la bibliografía de este artículo. Se recomienda especialmente la página del Postharvest Technology Research and Information Center del Departamento de Pomología de la Universidad de California- Davis.

### **BIBLIOGRAFÍA**

ANON. Refrigerated Storage of fruits and vegetables, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Her Majesty's Stationary Office, Londres, 1978

ASHRAE, ASHRAE Handbook and Product Directory-1974, citado por Toledo

CANTWELL, M. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality Department of Pomology, University of California, Davis, 2000 en <http://posrtharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit>

CRISOSTO, C.H.; MITCHAM, E.,J.; KADER, A. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality Department of Pomology, University of California, Davis, 2000 en <http://posrtharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit>

DINCER, I. Heat transfer in food cooling applications. Taylor-Francis. Washington, 63 - 66, 1997

GOGUS, A.Y., AKYURT, M., YAVUZKURT, S. Unsteady cooling of unit loads with exponential heat generation, Int. Institute of refrigeration- Annexe 1972. Citado por Dincer, 1977

KADER, A., Recommendations for Maintaining Postharvest Quality Department of Pomology, University of California, Davis, CA 95616 en <http://posrtharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit>

SING, P. HELDMAN, D. Introduction to food engineering. Academic Press, San Diego, 288-289,1984

SUSLOW, T.V., CANTWELL, M.; MITCHELL, J. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality Department of Pomology, University of California, Davis, 2000 en <http://posrtharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit>

TOLEDO, R. T. Fundamentals of food process engineering 2ª Edición. Chapman - Hall. New York , 419-421 , 1991